

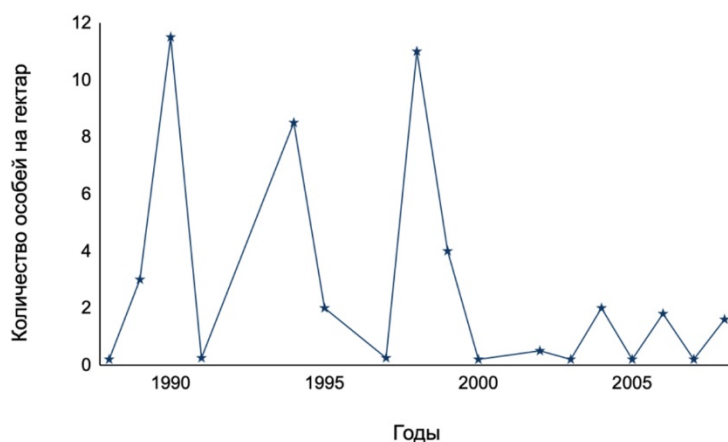
Время выполнения заданий – 240 минут

Максимальное количество баллов - 100

Задание 1 (12 баллов)

Эксперимент

Для популяций многих животных характерны периодические колебания численности. Типичным примером этого явления всегда были лемминги - мелкие грызуны, живущие в тундре. Обычно пики численности наблюдаются у них раз в несколько лет. Однако исследования популяции леммингов северо-восточной Гренландии показали, что такая картина сохранялась только до конца 90-х годов 20 века (см. график). А затем количество леммингов резко снизилось и, как видно на графике, вспышки численности прекратились.



Назовите как можно больше возможных причин, которые могли привести к наблюдаемым изменениям: снижению общего числа леммингов и исчезновению вспышек численности.

Задание 2 (12 баллов)

Расчетная задача.

Пишите подробное решение и поясняйте Ваши действия.

Мечехвосты – это морские членистоногие животные, обладающие толстым хитиновым панцирем и узким длинным хвостом, из-за которого они получили свое название. Несмотря на пугающий вид, для человека они не опасны: мечехвосты питаются моллюсками и другими морскими беспозвоночными, а также водорослями. Эти животные – живые ископаемые: современные мечехвосты появились в начале мезозойской эры, а значит, этому виду около 250 миллионов лет!



Гемолимфа мечехвостов содержит гемоцианин – дыхательный пигмент многих морских беспозвоночных животных. Молекула этого белка имеет в своем составе два иона меди и при окислении приобретает синий оттенок, поэтому иногда говорят, что обитатели морей имеют «голубую кровь».

В последние десятилетия гемолимфа этих животных нашла применение в иммунологии и медицине и служит предметом активного изучения биохимиков. Объем отбираемых для анализов проб обычно не превышает 30% (50 мл) от общего объема гемолимфы животного. Пользуясь справочной информацией, приведенной в конце задачи, посчитайте, сколько меди (в мг) потеряет мечехвост при отборе пробы объемом 50 мл. Для простоты считайте, что медь в гемолимфе мечехвостов содержится только в гемоцианине. Установите также, какая масса этого металла содержится в теле одного животного, если в гемоцианине аккумулировано 80% всей меди организма.

Справочная информация: $M(\text{Cu})=64$ г/моль; $M(\text{гемоцианина}) = 65,977$ кг/моль; число Авогадро $N_A=6,02 \cdot 10^{23}$ частиц/моль вещества; концентрация гемоцианина в гемолимфе составляет 2,24 г/100 мл.

Задание 3 (14 баллов)

Расчетная задача.

Пишите подробное решение и поясняйте Ваши действия. Если Вам нужно использовать специальные символы, Вы можете написать решение и ответ на листке бумаги, затем сфотографировать его и прикрепить к заданию (кнопки для этого расположены внизу страницы).

Медоносные пчелы (*Apis mellifera*) – общественные насекомые, живущие семьями. В пчелиной семье существует строгое разделение обязанностей. Плодовитая самка (матка) откладывает яйца. Из неоплодотворенных яиц вылупляются гаплоидные самцы – трутни. Из оплодотворенных яиц вылупляются личинки женского пола. Большинство таких личинок становятся рабочими пчелами – бесплодными самками, которые выполняют все повседневные обязанности в семье. Судьба личинки-самки зависит от того, чем ее кормят рабочие пчелы. Если личинка в качестве корма получает пергу (особым образом переработанную пыльцу), она развивается в рабочую пчелу. Обычно в семье есть лишь одна матка. Если она погибает или пчелиная семья готовится к роению, рабочие пчелы закладывают специальные, более крупные ячейки – маточники. Находящихся там личинок кормят так называемым маточным молочком, и они становятся молодыми матками. Примерно через неделю после выхода из куколки молодая матка совершает брачный вылет («проигру»). Во время этого вылета она спаривается с несколькими трутнями. Всю оставшуюся жизнь она проводит в улье, откладывая яйца и больше не спариваясь.

У пчел известно две рецессивные мутации, влияющие на развитие глаз. Одна из них, *pearl* (*pe*), приводит к развитию белых глаз (нормальные глаза – черные). Другая мутация, *eyeless* (*e*), вызывает полное отсутствие глаз. Плодовитость маток и трутней не зависит от генотипа по генам *Pe* и *E*.

Безглазая матка скрещена с черноглазым трутнем путем искусственного осеменения. Все рабочие пчелы и матки первого поколения были черноглазыми, а все трутни – безглазыми. Матку первого поколения скрестили с белоглазым трутнем. В потомстве были черноглазые трутни и рабочие пчелы, белоглазые трутни и рабочие пчелы, а также безглазые трутни. ВСЕХ черноглазых маток и трутней отобрали сразу после выхода из куколок, каждую черноглазую матку в компании нескольких десятков черноглазых трутней

поместили в отдельные ульи, в которых были рабочие пчелы, но не было маток и собственных трутней. Все молодые матки успешно совершили брачный вылет, были оплодотворены своими братьями и вернулись в ульи, где каждая дала начало новой семье.

Предположим, что самцов и самок в потомстве образуется поровну (в реальных пчелиных семьях самцов меньше, и их доля непостоянна). Если посчитать все потомство этих маток во всех ульях, какое расщепление по названным признакам (наличие глаз и их цвет) мы увидим?

Впишите число в процентах; дробные числа приведите с точностью до сотых (например, так: 12,35 %).

Задание 4 (15 баллов)

Анализ текста.

Внимательно прочитайте текст, затем приступайте к выполнению заданий.

В клетках эукариот значительная часть генов кодирует не белки, а так называемые некодирующие РНК (нкРНК). Они регулируют процессы жизнедеятельности клетки. Существует несколько разновидностей нкРНК. Одна из них - малые ядрышковые РНК (мякРНК, англ. - *small nucleolar RNAs, snoRNAs*). У млекопитающих их известно более 200 видов. Они необходимы для модификации нуклеотидов рибосомной РНК (рРНК): мякРНК определяет, какой именно нуклеотид будет модифицирован, а связанные с мякРНК белки осуществляют модификацию.

18S рРНК (длина ~ 2000 нуклеотидов), 5.8S рРНК (~150 нуклеотидов) и 28S рРНК (~ 5000 нуклеотидов) транскрибируются в ядрышке РНК-полимеразой I в составе единого предшественника (пре-рРНК). Затем в него вносятся несколько разрывов, в результате чего высвобождаются молекулы рРНК. Одновременно с разрезанием происходит модификация нуклеотидов рРНК. После завершения этих процессов происходит сборка субъединиц рибосом: синтезированные в цитоплазме белки направляются в ядрышко, где объединяются с рРНК, формируя большую и малую субъединицы рибосом, которые затем транспортируются в цитоплазму. В цитоплазме малая субъединица объединяется с 5'-концом иРНК и сканирует ее до обнаружения стартового кодона AUG, после чего присоединяется большая субъединица, и начинается синтез белка.

Две наиболее распространенные модификации рРНК - метилирование остатков рибозы по 2'-ОН (рис.1 А) и превращение уридина в псевдоуридин (рис.1 Б). В рРНК насчитывается примерно 100 модификаций каждого вида (всего ~200 штук). Эти модификации необходимы для нормального функционирования рибосомы: они обеспечивают правильное формирование пространственной структуры рРНК и стабилизируют её. Так, у архебактерий максимальное количество модифицированных нуклеотидов в рРНК наблюдается у видов, растущих при наиболее высоких температурах (у архебактерий нет ядрышка, однако аналоги мякРНК у них есть). Интересно, что у эукариот в зависимости от типа клеток и условий среды количество модифицированных нуклеотидов в рРНК может отличаться. То есть бывает так, что некоторые нуклеотиды модифицированы в одних клетках (или при одних условиях) и не модифицированы в других. Это позволяет тонко подстраивать структуру рибосом под условия среды.

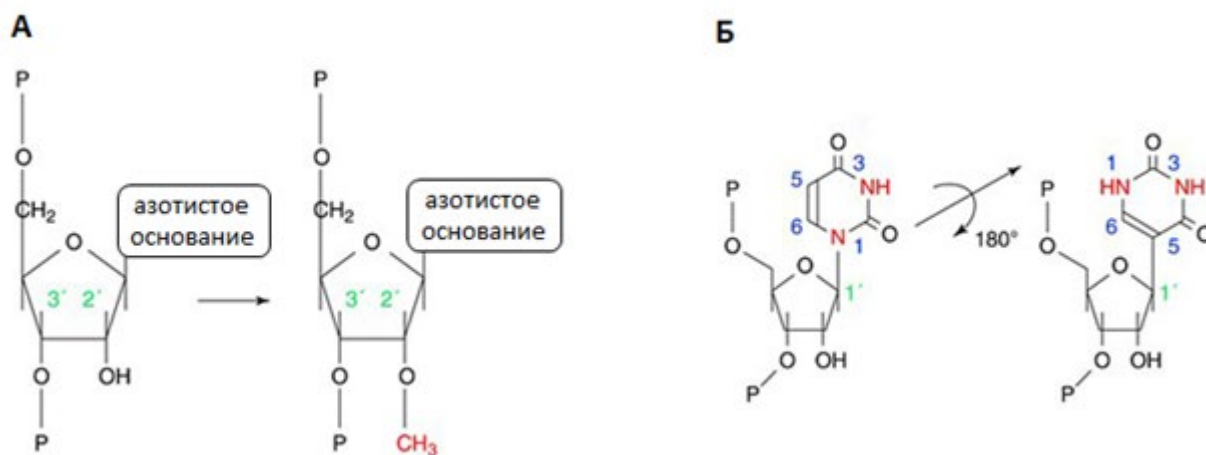


Рисунок 1. Модификации рРНК. А. 2'-О-метилирование рибозы. Добавленная в ходе модификации метильная группа выделена красным. Б. Образование псевдоуридина из уридина.

Существует два семейства мякРНК: С/D и Н/АСА . МякРНК С/D-семейства определяют нуклеотид рРНК, который будет подвергнут 2'-О-метилированию, а мякРНК семейства Н/АСА - псевдоуридилации. За каждую такую модификацию отвечает определенная мякРНК. МякРНК семейства С/D имеют длину около 70 нуклеотидов и содержат так называемые боксы С (UGAUGA), D (CUGA), а также, как правило, их копии С' и D' (рис.2). В направлении 5'-конца от бокса D и (или) D' расположены так называемые антисмысловые элементы – последовательности длиной 10–15 нуклеотидов, комплементарные фрагменту рРНК и способные взаимодействовать с ним. В результате такого взаимодействия нуклеотид рРНК, входящий в образующийся дуплекс и отделенный четырьмя нуклеотидами от последовательности D и (или) D', подвергается 2'-О-метилированию (рис.2). Некоторые мякРНК содержат два антисенс-элемента, другие - один. Реакцию метилирования осуществляет фибрилларин - один из белков, связанных с С/D мякРНК.

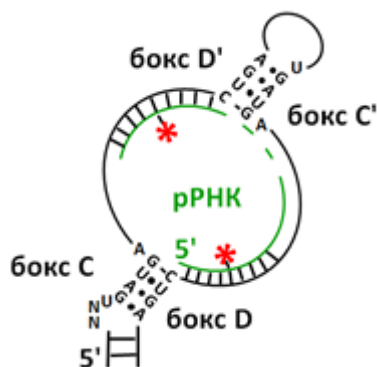


Рисунок 2. Структура мякРНК С/D-семейства. Представлена вторичная структура мякРНК с двумя антисенс-элементами. Последовательность рРНК выделена зеленым. Нуклеотид, подвергающийся модификации, отмечен красной звездочкой. Остальные пояснения см. в тексте.

Гены мЯкРНК организованы очень необычным образом: у позвоночных почти все они расположены в интронах других генов, называемых поэтому гены-хозяева (рис.3). В результате транскрипции такого гена образуется предшественник иРНК (пре-иРНК). МЯкРНК вырезаются из интронов во время сплайсинга пре-иРНК (гены эукариот имеют мозаичную структуру: кодирующие участки -экзоны - чередуются с некодирующими - интронами. Зрелая иРНК образуется в результате вырезания интронов и сшивания экзонов - этот процесс называют сплайсингом) , рис.3. Гены-хозяева, как правило, кодируют белки, связанные с формированием рибосом и процессом трансляции. Это позволяет координировать процессы, связанные с трансляцией.

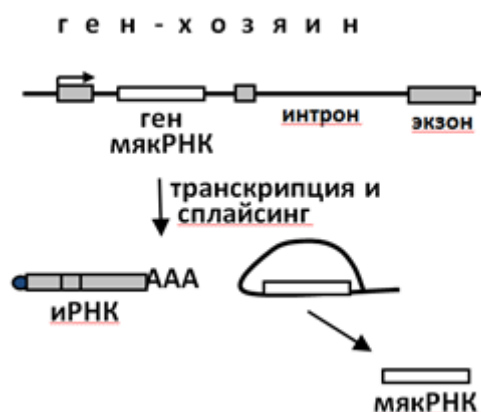


Рисунок 3. Созревание мЯк РНК.

Задания

Для ответа на задания используйте материал прочитанного текста. В каждом задании содержится не менее одного верного утверждения. Вам нужно выбрать все верные утверждения. Запишите их в поле ниже, используя числовые и буквенные обозначения, например: №1. А, Б, В.

1. Выберите варианты, верно описывающие последовательность событий, происходящих в клетке.

А. Синтез пре-рРНК РНК-полимеразой II - разрезание пре-рРНК и модификация нуклеотидов рРНК - сборка большой и малой субъединиц в ядрышке - транспорт субъединиц в цитоплазму - ассоциация малой субъединицы с иРНК - сканирование малой субъединицей иРНК от 5' к 3'- концу- присоединение большой субъединицы - начало синтеза белка

Б. Синтез пре-рРНК РНК-полимеразой II - модификация нуклеотидов рРНК - разрезание пре-рРНК - сборка большой и малой субъединиц в цитоплазме - транспорт субъединиц из ядра в цитоплазму - ассоциация малой субъединицы с иРНК - присоединение большой субъединицы - сканирование малой субъединицей иРНК от 5' к 3'- концу- начало синтеза белка

В. Синтез пре-рРНК РНК-полимеразой I - разрезание пре-рРНК и модификация нуклеотидов рРНК - сборка большой и малой субъединиц в ядрышке - транспорт субъединиц в цитоплазму - ассоциация малой субъединицы с иРНК - сканирование малой субъединицей иРНК от 5' к 3'- концу- присоединение большой субъединицы - начало синтеза белка

Г. Синтез пре-рРНК РНК-полимеразой II - разрезание пре-рРНК и модификация нуклеотидов рРНК - сборка большой и малой субъединиц в ядрышке - ассоциация малой

субъединицы с иРНК - сканирование малой субъединицей иРНК от 5' к 3'- концу- присоединение большой субъединицы - начало синтеза белка

Д. Синтез пре-рРНК РНК-полимеразой II - разрезание пре-рРНК и модификация нуклеотидов рРНК - сборка большой и малой субъединиц в ядрышке - ассоциация малой субъединицы с иРНК - транспорт субъединиц в цитоплазму - сканирование малой субъединицей иРНК от 5' к 3'- концу- присоединение большой субъединицы - начало синтеза белка

2. Переда вами последовательность мякРНК C/D-семейства и фрагмент гена 28S рРНК. Какой нуклеотид в рРНК модифицируется с участием этой мякРНК?

> мякРНК

5'CAAUGAUGACUUAUUACUUUUUGCCGUUUACCCAGCUGAGGUUGUCUUUGA
AGAAAUAUUUUUAAGACUGAGA

> фрагмент 28S рРНК

5'AAGAAAUUCAAUGAAGCGCGGGUAAACGGCGGGAGUAACUAUGACUCUCU

А. С

Б. U

В. G

Г. А

3. Выберите верные утверждения.

А. МякРНК семейства H/ACA участвуют в псевдоуридилровании нуклеотидов рРНК

Б. Большая и малая субъединица рибосомы одновременно присоединяются к иРНК поблизости от стартового кодона и начинают трансляцию.

В. МякРНК кодируются экзонами генов белков.

Г. Для образования мякРНК необходима транскрипция гена-хозяина и последующий сплайсинг пре-иРНК, после которого из интрона высвобождается мякРНК.

Д. Гены-хозяева названы так потому, что кодируют самые важные белки, необходимые для главных процессов жизнедеятельности клетки.

4. Как Вы думаете, в интронах каких генов преимущественно кодируются мякРНК? Выберите три наиболее подходящих варианта.

А. Гены белков, участвующих в репликации

Б. Гены белков, участвующих транскрипции

В. Гены белков, участвующих в трансляции

Г. Гены белков, участвующих в гликолизе

Д. Гены белков, регулирующих клеточный цикл

Е. Гены белков рибосом

Ж. Гены белков лизосом

З. Гены белков ядрышка

5. Как Вы думаете, в каких условиях в клетках дрожжей, выращенных на искусственной питательной среде, будет модифицировано наибольшее количество нуклеотидов рРНК в составе рибосом? Выберите один ответ.

А. Клетки выращивают в условиях недостатка питательных веществ.

Б. Клетки выращивают при повышенной температуре.

В. Клетки выращивают совместно с клетками бактерий.

Г. Клетки выращивают совместно с клетками археобактерий.

Задание 5 (15 баллов)

Особенность данного задания — наличие большого числа решений. Помните, что чем больше разумных вариантов ответа Вы приведете, тем более высокой будет оценка. ВАЖНО: учитываются только верные ответы; за неверные гипотезы оценка не снижается!

Как Вы думаете, какие белки в организме человека могут быть мишенями лекарств? Названия белков не нужны (хотя если можете, напишите). Главное - объясните, где они расположены, какую функцию/функции выполняют и почему воздействие именно на эти белки поможет при лечении заболевания.

Задание 6 (16 баллов)

Особенность данного задания — наличие большого числа решений. Помните, что чем больше разумных вариантов ответа Вы приведете, тем более высокой будет оценка. ВАЖНО: учитываются только верные ответы; за неверные гипотезы оценка не снижается!

Известно, что некоторые травоядные животные (например, морские брюхоногие моллюски) способны некоторое время сохранять в своем организме хлоропласты съеденных растений. В этих хлоропластах продолжается фотосинтез, и животное получает дополнительное питание. По каким причинам у организмов не получается сохранить эти хлоропласты длительное время, сделав их собственными?

Задание 7 (16 баллов)

Особенность данного задания — наличие большого числа решений. Помните, что чем больше разумных вариантов ответа Вы приведете, тем более высокой будет оценка. ВАЖНО: учитываются только верные ответы; за неверные гипотезы оценка не снижается!

В настоящее время мир охвачен эпидемией новой болезни, получившей название COVID-19. Для сдерживания ее распространения и правильного лечения очень важна своевременная и точная диагностика. Существующие диагностические тесты направлены на детекцию генетического материала вируса или антител к нему. Однако не так уж редко тестирование дает ложноотрицательные результаты (когда больной человек определяется по результату теста как здоровый) или ложноположительные результаты (когда здоровый человек определяется по результату теста как больной). Как Вы думаете, с чем это может быть связано? Для каждого случая (ложноотрицательный и ложноположительный результат) приведите возможные причины, приводящие к ошибочному диагнозу.